

## DISPOSITIF CAPTEUR DE VITESSE DE ROTATION INTERFEROMETRIQUE A FIBRE OPTIQUE

La présente invention se rapporte à un dispositif capteur de vitesse de rotation  
5 (gyromètre) interférométrique à fibre optique.

Le dispositif capteur de vitesse de rotation auquel se rapporte l'invention est basé sur un principe interférométrique à deux ondes dans lequel l'un des miroirs est un composant d'optique non linéaire du type miroir à conjugaison de phase. Le système de gyrométrie réalisé à partir de ce capteur repose sur les deux propriétés suivantes  
10 de l'interféromètre qui ont été mises en évidence pour la première fois dans la référence suivante : Ph. Graindorge et al « Fused reciprocity using phase conjugation » in Fiber Optic Rotation Sensors – Springer Verlag, 1982.

Ces propriétés sont les suivantes :

- Si un déphasage réciproque  $\delta\varphi_r$  est introduit sur le bras signal, il n'est pas vu par  
15 le détecteur ( $+\varphi_r - \varphi_r = 0$ ).
- Si un déphasage non réciproque  $\varphi_{nr}$  est introduit sur le bras signal, on mesure après détection une variation de phase  $2\varphi_{nr}$ .

Par conséquent, l'interféromètre ne voit que les effets de déphasage non réciproque, ce qui est le cas de l'effet Sagnac, mis à profit pour réaliser un capteur de  
20 vitesse de rotation.

La génération de l'onde conjuguée est réalisée dans le milieu laser lui-même. C'est une source monomode et monofréquence état solide. Des expériences de conjugaison de phase efficaces ont déjà fait l'objet de publications, en particulier dans les matériaux lasers Nd-YAG et Nd-YVO<sub>4</sub> – (Voir : A. Brignon et al « Phase  
25 conjugation in a continuous wave diode pumped Nd-YVO<sub>4</sub> laser in Applied Physics B, 1999). Pour réaliser un gyromètre, le faisceau issu du laser est injecté dans une boucle de fibre (de diamètre D et à N spires, ce qui fait que la longueur L de la fibre fibre est:  $L = N \times \pi D$ ).

On connaît des gyromètres à fibre optique monomode à maintien de polarisation.  
30 Une telle fibre optique est relativement difficile à aligner optiquement avec les dispositifs optiques qui doivent lui être couplés.

## 2

La présente invention a pour objet un capteur de vitesse de rotation à fibre optique pouvant utiliser une fibre optique à grand coeur, facile à aligner optiquement avec les dispositifs qui lui sont associés.

Le dispositif capteur de vitesse de rotation interférométrique à fibre optique de  
5 l'invention comporte une source laser associée à une fibre optique et à un dispositif réalisant l'interférence entre le faisceau de la source laser et le faisceau issu de la fibre optique, et il est caractérisé en ce que la source laser est une cavité optique à milieu laser à gain et qu'il comporte sur le trajet du faisceau de sortie de la cavité laser un dispositif séparateur de faisceaux associé à un dispositif réfléchissant, le  
10 faisceau séparé du faisceau de sortie de la cavité laser étant envoyé dans une des extrémités de la fibre optique dont l'autre extrémité est orientée vers le milieu laser à gain, le dispositif séparateur étant suivi d'un détecteur.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par  
15 le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est un schéma simplifié d'un capteur interférométrique conforme à l'invention,
- la figure 2 est un schéma simplifié d'un séparateur diffractif pouvant être utilisé dans le capteur de l'invention,
- 20 - la figure 3 est un schéma simplifié d'un capteur interférométrique conforme à l'invention, incorporant le séparateur de la figure 2, et
- la figure 4 est un schéma partiel d'un capteur interférométrique conforme à l'invention, utilisant une fibre optique sans maintien de polarisation.

Le dispositif interférométrique schématisé en figure 1 comporte : un laser  
25 compact 1, qui est dans le cas présent un milieu à gain constitué par une cavité optique 2 définie entre deux miroirs 3, 4 et pompée par un faisceau 5 émis par des diodes de pompage 5A, un milieu laser 6 étant disposé dans cette cavité 2. Ce laser est monomode et monofréquence et fonctionne en mode continu et polarisé. A l'intérieur de la cavité 2, oscillent deux faisceaux contrapropagatifs 2a et 2b. Sur le  
30 trajet du faisceau de sortie 2c du laser 1, on dispose une lame séparatrice 7, et derrière cette lame, dans le prolongement du même trajet, un miroir 8,

## 3

perpendiculaire à ce trajet. Le faisceau 2d, prélevé par la lame 7 à partir du faisceau 2c, est injecté dans une extrémité d'une fibre optique 9 en forme de bobine plate, bobinée régulièrement. L'autre extrémité de la fibre 9 est dirigée vers le centre du milieu laser 6 pour y intersecter les faisceaux 2a et 2b. Le faisceau 9a sortant de la fibre 9 en direction du milieu à gain 6 interfère avec les faisceaux 2a et 2b à l'intérieur du milieu 6 en créant un hologramme dynamique. Les faisceaux 2a et 2b, en se diffractant sur cet hologramme, génèrent un faisceau conjugué 2e qui est envoyé dans la fibre 9. En sortant de la fibre 9, ce faisceau 2e traverse la lame 7 et arrive sur un détecteur photoélectrique 10, sur lequel arrive également un faisceau 2c' qui représente la partie du faisceau 2c réfléchi par le miroir 8 et par la lame 7 en direction du détecteur 10. Ces deux faisceaux 2e et 2c' interfèrent entre eux sur le détecteur 10.

L'ensemble décrit ci-dessus constitue l'équivalent d'un interféromètre de Michelson dans lequel l'un des miroirs est un miroir non linéaire constitué par le milieu à gain 6.

Au niveau du photodétecteur 10, si  $\varphi$  est le déphasage entre les deux faisceaux 2e et 2c', l'expression de l'intensité détectée par le détecteur 10 est de la forme :  $I_D = I_0 (1 + \cos \varphi)$ . La position du miroir 8 est choisie pour réaliser la condition  $\varphi = \frac{\pi}{4}$  qui permet de se situer dans la zone de réponse linéaire de l'interféromètre. Dans ces conditions le signal  $I_D$  issu du photodétecteur 10 s'écrit :

$$I_D = \frac{I_0}{2} \times \delta\varphi_{NR}$$

où  $\delta\varphi_{NR}$  est le déphasage non réciproque dû à l'effet Sagnac dans la boucle de fibre 9 de N spires.

$$\delta\varphi_{NR} = \frac{4\pi LD}{\lambda_0 c_0} \times \Omega$$

avec :

$\Omega$  = vitesse de rotation angulaire de la bobine de fibre optique 9

D = diamètre de la bobine de fibre optique 9

L = longueur de la fibre optique

$\lambda_0$  = longueur d'onde du laser 1 dans le vide

$c_0$  = vitesse de la lumière dans le vide.

Un autre mode de réalisation du dispositif de l'invention est représenté en figures 2 et 3, la figure 2 représentant un détail de l'ensemble schématisé en figure 3.

- 5 Le dispositif capteur représenté en figure 3 est similaire à celui de la figure 1, à la différence principale que le séparateur de faisceau 7 est remplacé par un réseau de diffraction fonctionnant à la fois en mode réflexion et en mode transmission. Ce dispositif capteur comporte essentiellement une cavité laser 15, similaire à la cavité 2, une bobine plate de fibre optique 14 et un dispositif 13 séparateur de faisceaux et
- 10 réfléchissant, représenté en détail en figure 2.

- Plus précisément, comme indiqué sur la figure 2, le faisceau L issu de la cavité laser 15 est diffracté dans la direction  $\pm \theta$ , respectivement par réflexion (faisceau R) et transmission (faisceau D). Ce type de réseau est par exemple réalisé de façon connue en soi par des techniques d'inscription holographique dans des
- 15 matériaux photopolymères (réseau par variation d'indice photoinduite ou réseau de relief. Ces deux types de réseaux peuvent être également multiplexés dans le même volume de matériau photopolymère. Le faisceau réfléchi R est couplé dans la bobine de fibre 14 (figure 3) puis conjugué après réflexion sur le miroir non linéaire que constitue le milieu laser 16 (similaire ou identique à celui de la cavité 2 de la figure
- 20 1). Le faisceau conjugué C est envoyé dans la fibre 14 et interfère dans le réseau 13 avec le faisceau L issu de la source. L'intérêt de ce composant diffractif est de pouvoir réaliser facilement la condition  $\varphi = \frac{\pi}{4}$  pour la détection interférométrique.

- En interférant avec le faisceau L, le faisceau conjugué C crée une structure de franges dont la période correspond au pas du réseau par transmission. Dans ces
- 25 conditions, sur le détecteur 17 interfèrent le faisceau C directement transmis par le réseau et le faisceau D issu de la diffraction de L par le réseau 13. Il est connu des phénomènes de couplage de faisceaux par les réseaux que le déphasage entre les deux faisceaux D et C est contrôlé par la position du réseau par rapport aux franges d'interférences entre C et L. Pour réaliser la condition de détection linéaire, on
- 30 assurera un décalage spatial du réseau d'un quart de période lors de son inscription.

Le capteur de vitesse de rotation par interféromètre à fibre conforme à l'invention est compatible avec l'utilisation d'une fibre multimode. Dans la mesure où l'on réalise une fonction de mélange à quatre faisceaux dans la cavité (à savoir : les faisceaux L et L', qui se propagent en sens contraires dans la cavité 15 et les faisceaux R et C), le faisceau issu de la fibre peut être multimode : par conjugaison de phase on retrouve un faisceau C à onde plane qui est identique à celui injecté dans la bobine de fibre optique.

Le principe de fonctionnement du dispositif de l'invention est également compatible avec l'utilisation d'une fibre optique sans maintien de polarisation. Comme précisé dans la référence : « Gain grating analysis of a self starting... » de P. Sillard et al. IEEE – J.Q.E March 98, cette fonction est obtenue en introduisant dans la cavité 15 (figure 4) une première lame quart d'onde 18 entre le miroir 19 et le milieu laser à gain 16, une deuxième lame quart d'onde 20 de l'autre côté du milieu laser 16, et un polariseur 21 entre la lame 20 et le deuxième miroir de cavité 22. Les deux lames quart d'onde 18, 20 et le polariseur 21 permettent de créer deux faisceaux laser contrapropagatifs, de polarisations circulaires et orthogonales entre elles (à savoir : polarisations circulaire gauche et circulaire droite). Il est connu par ailleurs que le mélange à quatre faisceaux avec ces deux faisceaux polarisés circulairement permet de réaliser de la conjugaison de phase vectorielle, c'est-à-dire que la dépolarisation de la fibre se trouve ainsi corrigée.

Selon des exemples de réalisation du dispositif de l'invention, le milieu laser était en Nd-YAG puis en Nd-YVO<sub>4</sub>, la fibre était monomode, puis multimode à faibles pertes, et le composant diffractif était réalisé par holographie sur un matériau photopolymère.

Les avantages du dispositif de l'invention sont les suivants :

- il met en œuvre une source laser continue et compacte, pompée par des diodes et servant à la génération d'une onde conjuguée par mélange à quatre faisceaux intracavité.

- l'utilisation d'un séparateur de faisceau réalisé par un composant diffractif permet de fonctionner dans la région de réponse linéaire de l'interféromètre.

## 6

- le dispositif peut utiliser une bobine de fibre multimode ou de fibre monomode sans maintien de polarisation.

- l'interféromètre n'est sensible qu'aux effets de déphasage non réciproques. En particulier son point de fonctionnement n'est pas affecté par les variations lentes  
5 de chemin optique dans la bobine de fibre (dus à des variations de température).

## REVENDICATIONS

1. Dispositif capteur de vitesse de rotation interférométrique à fibre optique comportant une source laser (2, 15) associée à une fibre optique (9,14) et à un dispositif réalisant l'interférence entre le faisceau de la source laser et le faisceau issu de la fibre optique, caractérisé en ce que la source laser est une cavité optique à milieu laser à gain (6, 16) et qu'il comporte sur le trajet du faisceau de sortie de la cavité laser un dispositif séparateur de faisceaux (7, 13) associé à un dispositif réfléchissant (8, 13), le faisceau (2d, R) séparé du faisceau de sortie de la cavité laser (2c, L) étant envoyé dans une des extrémités de la fibre optique dont l'autre extrémité est orientée vers le milieu laser à gain, le dispositif séparateur étant suivi d'un détecteur (10, 17).
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif réfléchissant associé au séparateur est distinct de celui-ci et est un miroir (8).
3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le séparateur est un réseau de diffraction fonctionnant à la fois en réflexion et en transmission (13) et joue ainsi le rôle de dispositif réfléchissant.
4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la position dudit miroir est réglée pour obtenir un déphasage de  $\pi/4$  entre le faisceau réfléchi par ledit miroir et le faisceau provenant de la fibre optique.
5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réseau est un réseau de variation d'indice.
6. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réseau est un réseau de relief.
7. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réseau est un réseau résultant du multiplexage d'un réseau de variation d'indice et d'un réseau de relief.
8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique est une fibre multimode.
9. Dispositif selon lune des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on dispose dans la cavité laser deux lames quart d'onde (18, 20) et un polariseur (21).

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que la fibre optique est une fibre sans maintien de polarisation.



1/2

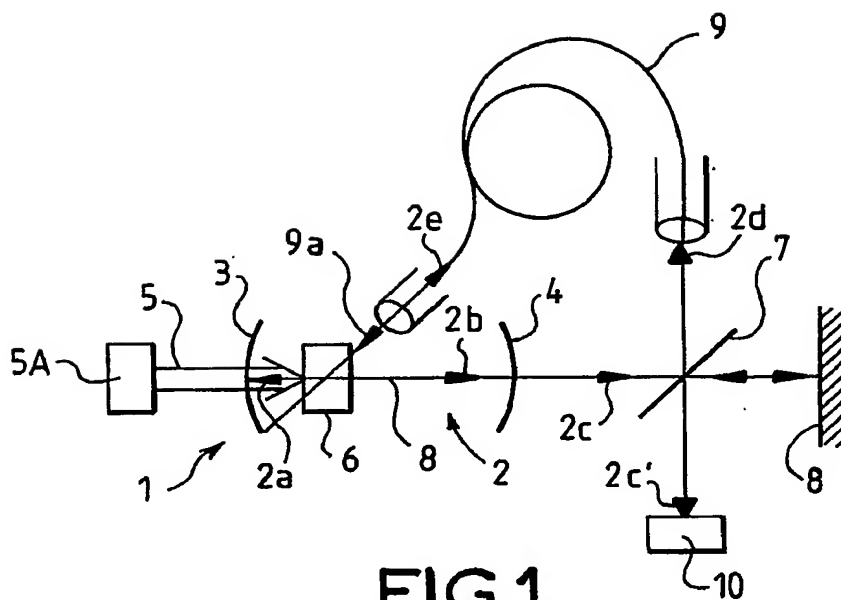


FIG. 1

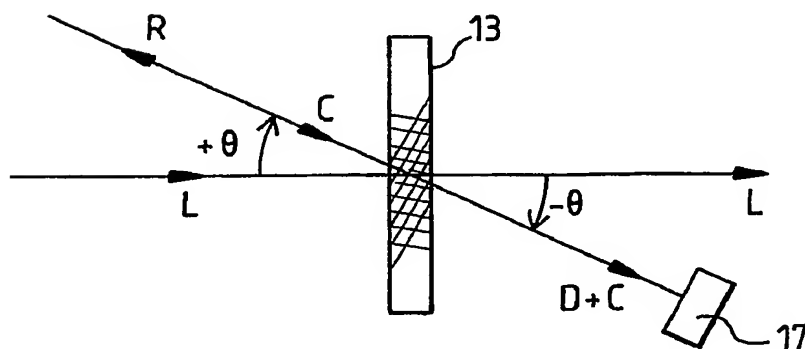


FIG. 2

2/2

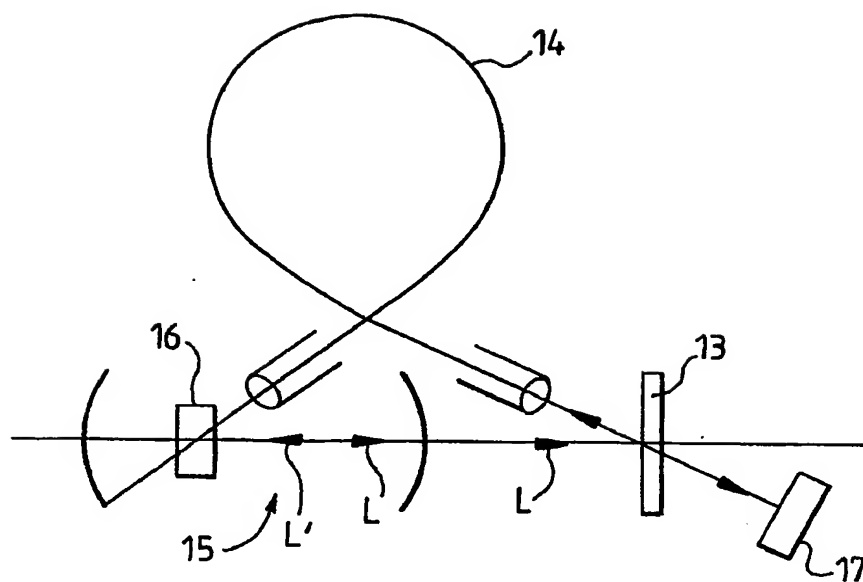


FIG. 3

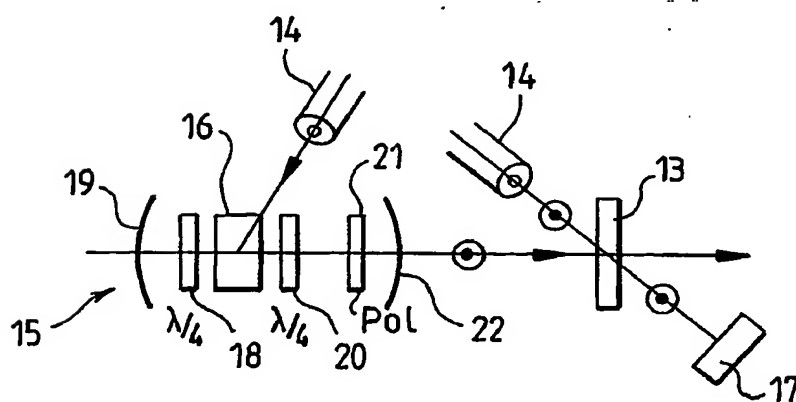


FIG. 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/051904

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01C19/72 G01J9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01C G01J H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 516 232 A (THOMSON CSF) 13 May 1983 (1983-05-13) page 2, line 8 - line 33 page 3, line 11 - page 4, line 30 page 5, line 29 - line 34 page 7, line 4 - line 9 figures 1,5	1-10
A	US 4 765 740 A (FISCHER BARUCH) 23 August 1988 (1988-08-23) the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 December 2004

Date of mailing of the international search report

21/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Yosri, S

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/051904

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2516232	A	13-05-1983	FR 2516232 A1	13-05-1983
			DE 3276839 D1	27-08-1987
			EP 0079268 A1	18-05-1983
			JP 1612502 C	30-07-1991
			JP 2036166 B	15-08-1990
			JP 58092902 A	02-06-1983
			US 4571080 A	18-02-1986
<hr/>				
US 4765740	A	23-08-1988	IL 74284 A	28-02-1989

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/EP2004/051904

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 G01C19/72 G01J9/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 G01C G01J H01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 516 232 A (THOMSON CSF) 13 mai 1983 (1983-05-13) page 2, ligne 8 - ligne 33 page 3, ligne 11 - page 4, ligne 30 page 5, ligne 29 - ligne 34 page 7, ligne 4 - ligne 9 figures 1,5	1-10
A	US 4 765 740 A (FISCHER BARUCH) 23 août 1988 (1988-08-23) le document en entier	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

13 décembre 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/12/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Yosri, S

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2004/051904

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2516232	A	13-05-1983	FR 2516232 A1	13-05-1983
			DE 3276839 D1	27-08-1987
			EP 0079268 A1	18-05-1983
			JP 1612502 C	30-07-1991
			JP 2036166 B	15-08-1990
			JP 58092902 A	02-06-1983
			US 4571080 A	18-02-1986
US 4765740	A	23-08-1988	IL 74284 A	28-02-1989